

6시그마 기법을 적용한 식재용 경량콘크리트 골재로서의 바텀애쉬 배합설계에 관한 실험적 연구

A Study on the Performance Based Mix Design on Using Bottom Ash as Planting Concrete Aggregate through Applications of 6 Sigma Technique

안혜련* 오재훈** 송유미*** 허영기****
Ahn, Hye-Ryeon Oh, Jae-Hoon Song, Yu-Mi Huh, Young-Ki

Abstract

As industrialization progresses is rapidly growing, the city of density and temperature is rising successively. It leads to the status of environmental issues. It is needed to develop process of planting concrete block using by Eco-materials for replacing to he existing rooftop light soil that imported. In this study, developing the process of planting lightweight block is researched on using applications of 6 Sigma technique. It makes process object improve standard by using statistical method. Also, there are suggestion that it is optimum mix design conditions and affection of experimental factors in matters of developing planting concrete block for rooftop greening.

키워드 : 6시그마, 바텀애쉬, 옥상녹화, 경량블록
Keywords : 6 sigma, bottom ash, rooftop greening, lightweight block

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

근대에 들어 급속도로 산업화가 진행됨에 따라 도시가 점차 고밀도화 되고 녹지공간이 축소되면서 도심지로 갈수록 기온이 상승되고 있다. 또한 온실가스 배출의 증가로 지구온난화, 오존층 파괴, 기상재해, 생태계의 파괴 등과 같은 환경문제들이 발생하고 있는 실정이다.

이러한 환경문제들로 인해 지구환경에 대한 국제적인 관심이 점점 증가하여 지구온난화 문제를 해결하기 위한 옥상녹화가 녹색도시 모델개발 및 조성과 녹색건축물 확대가 가능한 하나의 방안으로 제시되고 있다. 그러나 녹지조성을 위해 사용되는 경량토양은 절대적으로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 식생소재를 개발함으로써 기존의 녹지 조성 및 옥상녹화를 위해 사용되는 수입산 경량 토양을 대체할 수 있는 친환경 소재로 식생경량블록 시스템의 개발과 실용화 할 수 있는 프로세스 구축이 필요하다.

제조업에서 많이 사용되고 각광받고 있는 개발 프로세스의 개

선기법으로 프로세스 개선목표 및 수준을 정량화하고 통계적 기법과 절차를 활용하여 프로세스 개선이 가능한 6시그마 기법^{1,2)}이 있으며, 현재 건설 산업에서도 6시그마 기법을 접목하고자 하는 노력이 2000년대부터 시작되었다.

본 연구에서는 식생경량블록의 개발의 프로세스의 개선기법으로 6시그마 기법을 적용하여 식생경량블록의 배합설계를 제시하고 실험인자들로 인해 영향을 미치는 요인들을 파악한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 6시그마를 적용하여 식생경량블록 개발의 정의를 내리고 최적의 값을 도출 할 수 있는 실험조건을 제시한다. 현황 문제점을 개선시켜 향후 지속적으로 활동할 수 있는 관리 부분까지 하고자 한다.

그러나 현재 연구가 바텀애쉬의 물성 분석과 경량블록의 배합 실험까지 진행되어 본 논문에서는 개발의 정의를 내리고, 식재용 경량블록을 제작하여 유효인자의 분석으로 현재 수준을 파악할 수 있는 측정부분까지 본 논문에서 기술하였으며 본 연구의 방법은 다음과 같다.

- 1) 6시그마의 개념과 추진단계에 대한 이론적 고찰을 실시한다.
- 2) 바텀애쉬를 이용한 식생경량블록 개발에 대한 정의 선정과 바텀애쉬, 시트, 물의 배합비를 선정해 실험을 진행한다.
- 3) 실험을 통하여 산출 된 결과값을 토대로 Minitab 16을 사

* 부산대학교 건축공학과 석사과정
** 부산대학교 건축공학과 박사과정
*** 성균관대학교 U-CITY공학과 석사과정
**** 부산대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 교신저자
(ykhuh@pusan.ac.kr)

용하여 식생경량블록에 영향을 미치는 실험인자들의 관계를 파악한다.

2. 6시그마의 개념과 추진단계

2.1 개념

시그마란 통계학에서 변동을 나타내는 척도 가운데 하나인 표준편차를 의미한다. 품질수준을 가리킬 경우, 6시그마 수준이라 하면 100만번 중 3, 4번 정도의 에러가 발생하는 수준을 말한다. 일반적으로 6시그마는 실제 업무상 실현될 수 있는 가장 낮은 수준의 에러로 인정되고 있다.

모토로라에서 근무하던 미국의 마이클 해리 박사에 의해 1987년 창안된 6시그마는 고객의 관점에서 품질에 결정적인 요소를 찾고 과학적인 기법을 적용하여 100만개 중 3, 4개의 결점수준인 무결점 품질을 달성하는 것을 말한다. 이와 같이 6시그마 운동의 출발점이며, 그 목적 달성을 위해 필요한 도구를 사용하여 기업 전체가 하나가 되어 추진하는 활동을 6시그마 활동이라 한다.

2.2 추진단계

6시그마의 추진방법론에는 DMAIC, DMEDI 등이 있다. DMAIC 방법론은 품질 향상, 비용절감, 고객만족도 향상 등과 같은 프로세스 개선의 목적을 가지며 제조 프로세스에 적용이 된다. DMEDI 방법론은 새로운 상품, 프로세스, 설계 및 개발을 위한 연구 프로세스에 적용된다. 본 연구에서는 바텀애쉬를 이용한 식재용 경량 블록 개발을 위한 연구로써 DMEDI 방법론을 적용하였다.

- 1) Define은 정의 단계로, 비즈니스 개선 기회를 정의하고, 프로젝트 계획을 수립한다.
- 2) Measure는 측정 단계로, 고객 및 비즈니스 needs를 확인하고, 경쟁력 분석과 전문지식을 통해 성공적인 설계의 판단 기준 및 규격을 설정한다.
- 3) Explore는 조사 단계로 최선의 설계 컨셉을 선택 및 평가하고 최적 설계를 개발한다.
- 4) Develop는 개발 단계로 제품, 서비스, 프로세스 설계를 상세하게 개발하고, 조사 단계에서 시작 된 성능 예측을 재확인한다.
- 5) Implement는 이행 단계로 시험적용을 통한 계획, 실시 및 결과를 분석하고 프로세스의 평가 및 보안을 시행한다.

3. 6시그마를 적용한 식생 경량블록

3.1 정의

6시그마 기법을 적용할 대상의 범위는 식생 경량블록의 개발을 위한 산업폐기물 기본 물성 분석에서부터 녹지공간조성 시스템

개발까지로 한다. 브레인스토밍을 통해 도출된 식생경량블록의 개발에 영향을 미치는 Input요인과 개발로 인해 도출되는 Output요인을 정리하면 그림 1과 같다. Input 요인에 영향을 주는 대상은 소재 공급자인 화력발전소의 시스템이며, Output 요인으로 인하여 옥상녹화공법의 단순화 및 조립화, 경제적 절감의 효과를 기대할 수 있다.

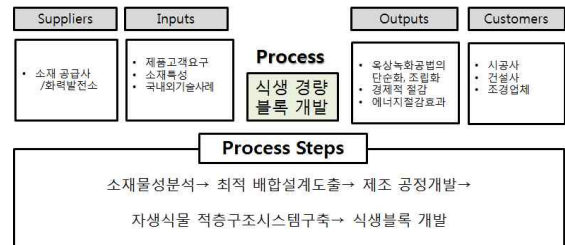


그림 1. SIPOC Diagram에 의한 프로세스 구성요소

3.2 측정

본 연구에서는 유효한 식재용 경량블록제작을 위한 배합비를 결정하기 위하여 예비실험을 실시하였다. 예비실험의 콘크리트 배합사항은 표 1과 같으며, 시멘트와 바텀애쉬의 비를 변수로 하여 1:5에서 1:1.5까지 표 1과 같이 설정하였다.

표 1. 예비실험 배합계획표

구분	시멘트 : B,A (질량비)	물시멘트비(W/C) (%)
1	1 : 5	30
2	1 : 4	30
3	1 : 3	30
4	1 : 3	30
5	1 : 2.5	10
6	1 : 2.5	20
7	1 : 2.5	25
8	1 : 2.5	30
9	1 : 2	30
10	1 : 1.5	30

물시멘트비는 옥상용 식재 콘크리트블록에 관한 현행 기준이 없기 때문에 'KS F 4002 속 빈 콘크리트 블록'과 'KS F 4006 콘크리트 경계 블록'의 기준을 참고하여 30% 이하로 기준을 정하고 10%, 20%, 25%, 30% 로 설정하였다. 예비실험을 실시한 결과 물/시멘트 비 10%인 5번 공시체와 바텀애쉬의 비율이 높았던 1번, 2번 공시체의 경우 몰드에서 탈형 할 때 깨짐 현상이 발생하였다. 또한 시멘트와 바텀애쉬의 비가 1:1.5인 10번 공시체는 표면이 시멘트로 덮여 식물이 활착하기에 적당하지 않고 배수도 원활히 되지 않을 것으로 예상되었다.



그림 2. 표면박힘이 발생한 깨짐 현상이 발생한 공시체

예비실험을 실시한 후 그림 2와 같은 바텀애쉬 블록의 깨짐을 방지하며 식물의 활착이 가능하도록 시멘트와 바텀애쉬 비는 1:3과 1:2.5, 물시멘트비는 25%와 30%로 설정하였다.

또한, 식재용 블록의 물리적·역학적 특성을 파악하기 위하여 단위용적질량, 기건비중, 공극률, 흡수율, 함수율, 압축강도를 측정하여 식생블록으로써의 사용성을 평가해보았다.

표 2. Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

No.	W/C (%)	C/B,A	단위용적질량 (kg/m ³)	기건비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도 28일 (N/mm)
B,A-01	30	1:3	1,115	1.08	21.92	10.7	43.9	2.97
B,A-02			1,113	1.10	22.00	12.3	42.2	2.30
B,A-03		1:2.5	1,140	1.12	18.1	9.01	39	5.64
B,A-04			1,144	1.13	15.3	8.2	37.8	5.00
B,A-05	25	1:3	1,120	1.13	22.3	10.5	39.9	7.86
B,A-06			1,122	1.14	24	10	38.3	7.00
B,A-07		1:2.5	1,150	1.16	9	9.1	35	11.35
B,A-08			1,152	1.15	8.2	8.3	35.6	11.20

* W/C : 물시멘트비

C/B,A : 시멘트와 바텀애쉬의 비

표 2는 변수로 W/C를 25%와 30%, C/B,A를 1:2.5와 1:3으로 설정하고, 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성으로 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도를 나타낸 것이다.

그림 3은 실험 데이터를 바탕으로 하여 실험인자들이 반응인자에 영향을 미치는 정도를 분석하기 위해 주효과도(Main Effects Plot)¹⁾와 교호작용도(Interaction Plot)²⁾를 나타내었다. 주효과도에서는 직선의 기울기가 클수록 반응인자에 영향을 많이 미치

1) 주효과도(Main Effects Plot): 주 인자의 주 효과를 파악하기 위한 그림

2) 교호작용도(Interaction Plot): 상호인자의 상호효과를 파악하기 위한 그래프

는 실험인자이다. 가운데 직선은 총 평균을 의미하며 각 지점은 수준별 평균을 나타낸다. 교호작용도는 2가지 인자 이상의 인자 수준의 조합에서 발생할 수 있는 효과를 보여주며 인자에 대한 영향이 다른 한 인자의 수준에 따라 바뀌는 것을 교호작용이라 한다. 두 개의 선이 거의 평행선을 나타내면 교호작용은 없는 것으로 간주되지만 평행하지 않거나 교차하면 교호작용의 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

1) 단위용적질량

바텀애쉬를 사용한 식생블록의 단위용적질량에서 영향을 많이 주는 실험인자는 C/B,A이다. 따라서 바텀애쉬의 양보다 시멘트의 양이 증가할수록 단위용적질량이 크게 증가되며 교호작용도의 두 직선은 평행이 되어 W/C, C/B,A 두 인자는 교호 작용이 일어나지 않음을 알 수 있다.

2) 기건비중 및 압축강도

바텀애쉬 식생블록의 기건비중과 압축강도에서는 W/C와 C/B,A의 두 실험인자들이 반응인자에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 실험인자들을 비교하였을 때 물시멘트비에 따른 기건비중의 차이가 C/B,A 보다 크며 두 인자 사이에서의 교호작용은 의심되지 않는다.

3) 공극률

선행연구를 통하여 식재용 블록의 경우, 20~40%정도의 공극률이면 식물의 생장에 큰 이상이 없다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서의 바텀애쉬 블록의 공극률 평균값은 39%이므로 식물이 성장하기에 적정하다는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 공극률에 대한 주효과도에서는 두 가지의 실험인자들이 공극률에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 실험인자들 간의 교호작용은 발생하지 않았다.

4) 흡수율 및 함수율

바텀애쉬 블록의 흡수율과 함수율은 C/B,A의 실험인자가 가장 많은 영향을 미치고 있으며 교호작용도는 두 인자의 선들이 평행하지 않고 교차하고 있으므로 교호작용이 있다. 즉, W/C와 C/B,A의 인자들 간에 상호효과가 존재함으로써 2개의 실험인자가 다른 실험결과보다 흡수율 및 함수율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 매립되어지는 폐기물 중 하나인 바텀애쉬를 식생블록으로 활용하기 위한 프로세스 연구로써, 바텀애쉬 블록의 특성들을 비교분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

바텀애쉬를 이용한 식생블록에 관한 선행연구는 전무하여 본 실험을 통해 C/B,A를 1:3과 1:2.5로 혼합하고, W/C는 30%, 25%로 특성 분석한 결과 각 평균값으로는 단위용적질량 1,131 kg/m³, 기건비중 1,125, 압축강도 28일 6.66 N/mm, 공극률

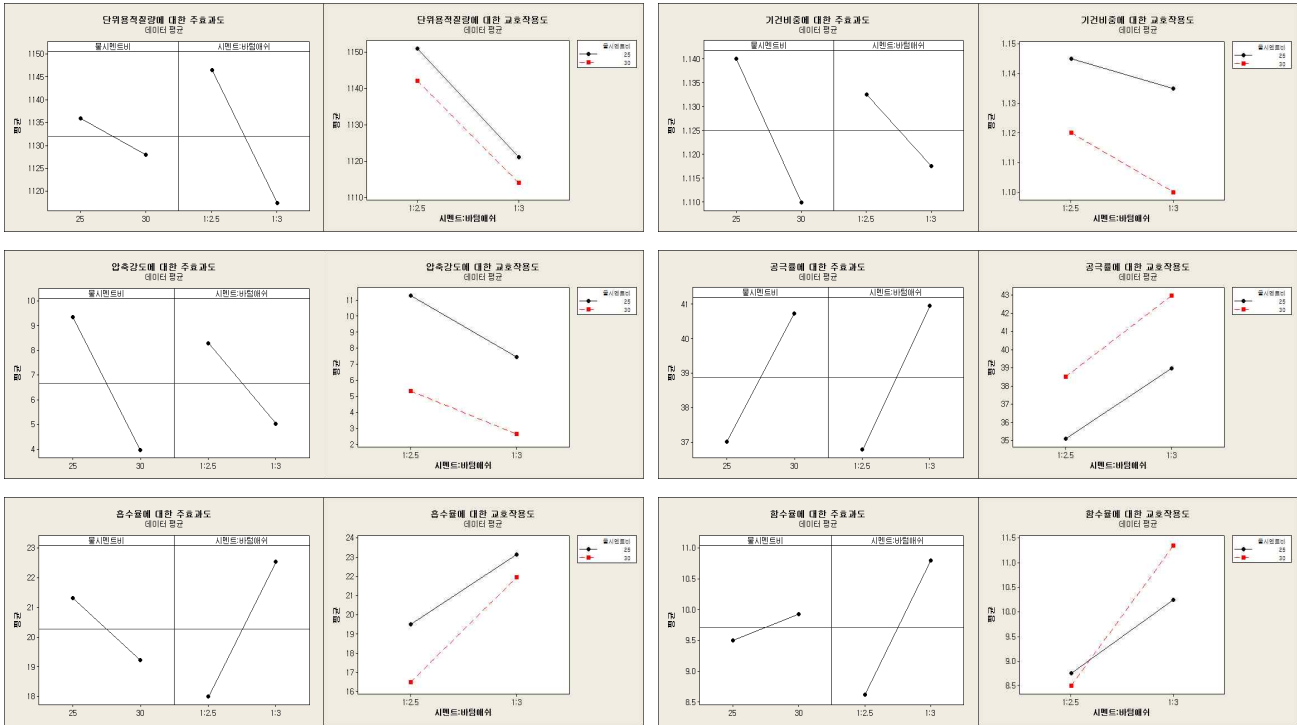


그림 3. 바텀애쉬(Bottom Ash)블록의 주요과도 및 교호작용도 분석

38.87%, 흡수율 20.27%, 함수율 9.71%의 결과를 도출하였다.

본 실험을 통해 분석한 결과 W/C의 실험인자는 기건비중과 압축강도, 공극률에 큰 영향을 미치며 C/B,A의 실험인자는 단위용적질량과 공극률, 흡수율, 함수율에 큰 영향을 끼친다. 또한 흡수율과 함수율은 두 실험인자간의 교호작용이 일어남으로써 W/C와 C/B,A 간의 설정 또한 고려되어야한다.

향후 연구에는 식생블록 개발에 실험인자의 설정 및 배합비를 보다 다양하게 적용하고 6시그마의 조사단계에서 최적의 배합비를 산출하여 개발단계에서부터 식생블록을 건물옥상에 적용할 수 있는 설계를 상세하게 계획해야 한다. 그 후 마지막 단계인 이행 단계에서 프로세스의 평가 및 보안을 시행하여야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(국토해양부)의 재원으로 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 로랜드헤일러, 혁신의 정점, 6시그마 프로세스 경영, 네모북스, 2006
2. 박희재, 이봉우, 6시그마 실무완성, 한국경영혁신컨설팅, 2011
3. 정상화 외, 저희의 성토재료 활용성에 대한 실험적 연구, 한국건설순환자원학회지 제5권 제4호, 2010
4. 재활용 재료를 사용한 친환경 식생블록의 기초특성에 관한 연구, 한국

건설순환자원학회 학술발표 논문집, 제10권 제1호, pp.93~96, 2010.5

5. 정미숙, 오덕성, 건축물 옥상녹화의 건축계획 특성 및 개선방안에 관한 연구, 한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, 제2005권 제1호, 2005
6. 이정민, 한동훈, 함계범, 신경호, 김창덕, 공동주택의 옥상텃밭을 적용한 옥상녹화 활성화 방안에 관한 연구, 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2011